



Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta para cuestionar las pseudociencias

- Socio-scientific Issues and Critical Thinking: A Proposal to Question the Pseudosciences
- Questões sociocientíficas e pensamento crítico: uma proposta para questionar as pseudociências

Resumen

En este artículo de reflexión se aborda, en primer lugar, el origen y la evolución de la educación en Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) y su relación con las cuestiones socio-científicas (CSC). A continuación, se muestran diferentes propuestas de pensamiento crítico (PC) desde la didáctica de las ciencias, viendo como estas, si se centran únicamente en los aspectos procedimentales del mismo, son insuficientes para desarrollarlo en la enseñanza de las ciencias y que, para ello, es necesario el abordaje de CSC. Por último, se realiza una propuesta de CSC sobre pseudociencias que pueden ser más relevantes en el actual momento histórico de irracionalismo, como por ejemplo, la parapsicología, la astrología, la homeopatía, la curación cuántica y el negacionismo.

Palabras clave

Educación CTS; cuestiones sociocientíficas; pensamiento crítico; pseudociencias

Abstract

This reflection article addresses the origin and evolution of education in Science, Technology and Society (STS) and its relationship with socio-scientific issues (STIs). Below, different proposals for critical thinking (CT) are shown from the didactics of the sciences, seeing how these, if they focus only on the procedural aspects of it, are insufficient to develop it in the teaching of the sciences and because of that the STS approach is necessary. Finally, a STS proposal is made on pseudosciences that may be more relevant in the current historical moment of irrationalism, such as parapsychology, astrology, homeopathy, quantum healing and denialism.

Keywords

sts education; socio-scientific issues; critical thinking; pseudosciences

Jordi Solbes*

* Doctor en Ciencias Físicas, Catedrático de Universidad en Didáctica de las Ciencias, Universitat de Valencia, España. Correo electrónico: jordi.solbes@uv.es. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8220-209X>.

Fecha de recepción: 30/07/2018
Fecha de aprobación: 12/01/2019

Resumo

Este artigo de reflexão aborda, primeiramente, a origem e evolução da educação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e sua relação com questões sócio-científicas (QSC). A continuação, são apresentadas diferentes propostas de pensamento crítico (PC) a partir da didática das ciências, vendo como estas, se focam apenas nos aspectos procedimentais, são insuficientes para desenvolvê-lo no ensino das ciências e que, para isso, a abordagem de QSC é necessária. Finalmente, é feita uma proposta de QSC em pseudociências que podem ser mais relevantes no atual momento histórico do irracionalismo, como parapsicologia, astrologia, homeopatia, cura quântica e negação.

Palavras chave

Educação em CTS; questões sócio-científicas; pensamento crítico; pseudociências

Ciencia, Tecnología, Sociedad

Los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) surgen en los años 70, un periodo en el que hay una imagen muy negativa de la ciencia. Diversos autores (Bernal, 1976; Habermas, 1992; Marcuse, 1972; Salam, 1986) denuncian una ciencia que ha contribuido al armamentismo nuclear, químico y biológico y a los grandes negocios de las corporaciones, por lo tanto, una ciencia al servicio de las clases dominantes. Por otra parte, se denuncia el uso de razones científico-técnicas para justificar decisiones político-económicas, como, por ejemplo, las centrales nucleares, que dieron pie a lo que se denominó tecnocracia (Winner, 1987). El propio Habermas (1992) sostiene que en la sociedad hay 3 tipos de racionalidad, la tecnológica, la hermenéutica y la crítica, y considera la ciencia como prototipo de razón instrumental a la que contrapone la razón crítica de la filosofía. Esto ha tenido implicaciones educativas ya que Contreras (2011), basándose en las tres racionalidades, establece 3 tipos de profesores: Tecnológico, Práctico-reflexivo y Sociocrítico.

El programa fuerte de sociología de la ciencia (Barnes, 1987; Latour, 1992) propone un relativismo que llega a cuestionar que existan estándares de conocimiento más racionales y fiables que otros.

La extensión de la obligatoriedad de la secundaria hasta los 15 o 16 años, según países, en la década de los 70 genera actitudes negativas hacia la ciencia. La educación CTS surge para cambiarlas y para contextualizar la ciencia relacionándola con la tecnología, la sociedad y el ambiente (Solbes y Vilches, 1989), lo que puede mejorar el aprendizaje al conectarlo con los intereses de los estudiantes (Pope y Gilbert, 1983). Las investigaciones ponen de manifiesto que un 76,9 % del alumnado de secundaria de centros españoles no conocía

las relaciones de C con T, pese a formar parte del currículo; el 99,6 % las relaciones de C con S; el 93,6 % las relaciones de C con A, etc. y que estos resultados mejoraban de modo significativo con la utilización de actividades C TSA en el aula (Solbes y Vilches, 1997).

Cuando la educación en CTS se va generalizando, se introducen las relaciones CTS en los currículos de ciencias de tres formas:

1. Incorporan actividades CTS en un curso de ciencias sin alterar el programa habitual (átomo, enlace, reacciones, etc.), p. ej., Harvard Project Physics, Satis o Ciencia a través de Europa.
2. Enseñan ciencia a través de un enfoque CTS y se desarrollan cuando surgen los contenidos científicos: Plon, Apqua, Salter's, (p. ej. en este último los temas son combustibles, medicamentos, etc.)
3. Proyectos denominados CTS puros en los que se enseña CTS y el contenido científico juega un papel subordinado: Siscon, las asignaturas CTS (Solbes, 2002) y Ciencias para el mundo contemporáneo (Solbes, Marco, Tarín y Traver, 2010). Cuando se desarrollan, algunos proyectos pierden su carácter crítico, centrándose en las aplicaciones de la ciencia. Incluso hay proyectos que están subvencionados por la industria (Apqua, Salter's), preocupada por la reducción de estudiantes de carreras científicas e ingeniería.

Por otra parte, se establecen conexiones con los movimientos de alfabetización científica, que se ha convertido en una exigencia urgente, en un factor esencial del desarrollo de las personas y de los pueblos, porque la enseñanza usual de las ciencias suele olvidar que su principal finalidad es preparar a los futuros científicos/ingenieros y a los ciudadanos

conjuntamente para participar en una sociedad cada vez más moldeada por la investigación y el desarrollo en ciencia y tecnología (Aikenhead, 1994).

Cuestiones socio-científicas

Los trabajos sobre cuestiones socio-científicas (CSC) empiezan a surgir hacia el año 2000, en conexión con la toma de decisiones (Ratcliffe, 1997) y con la alfabetización científica de la ciudadanía (Kolstø, 2001), temas típicos de educación CTS (Aikenhead, 1985 y 1994). Las CSC se pueden definir como dilemas o controversias sociales que tienen en su base nociones científicas (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Se incorporan al tema de las CSC personas que vienen del campo de la argumentación y que le dan gran importancia a la misma en la resolución de dichas cuestiones (Jiménez-Aleixandre, 2010; Zeidler, Osborne, Erduran, Simon y Monk, 2003;). Esto completa el tema de las CSC con aspectos procedimentales como el uso de *evidence*, españolizado como evidencias, cuando la traducción más adecuada sería pruebas. Los tres componentes principales de la argumentación son: 1) datos, pruebas o hechos que sirven como base para la justificación y pueden ser de diferente tipo: empíricas, hipotéticas, etc.; 2) justificación, reglas o principios que permiten pasar de los datos a la conclusión o afirmación de la argumentación; y 3) conclusiones, afirmaciones o aseveraciones cuya validez se quiere demostrar. Las pruebas permiten distinguir conclusiones sustentadas en datos de opiniones. Por otra parte, algunas veces estas CSC se plantean como debates que favorecen la argumentación y el aprendizaje de las ciencias (Ruiz, Solbes y Furió, 2013).

Esto nos lleva a preguntarnos las relaciones que puedan existir entre CTS y CSC. Algunos parecen considerar que las CSC engloban a CTS y en el libro *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education* (Zeidler, 2003), CTS aparece como un capítulo. En cambio, hay autores (Martínez, 2013) que consideran que las CSC son una parte de CTS. Considero que cuando el programa de investigación de educación CTS estaba empezando, en terminología lakatosiana, a dejar de ser progresivo y con proyectos que perdían su carácter crítico, surgen las CSC que recuperan dicho carácter y, además, hacen más énfasis en aspectos procedimentales como la argumentación y el uso de pruebas. Es decir, el núcleo del programa de investigación CTS y CSC es casi el mismo y plantear divisiones internas recuerda escenas de la película “La vida de Brian” donde se produce división por meras denominaciones y se olvida que lo importante es generalizar el uso crítico de CTS o de CSC en las aulas de ciencias, lo cual aún no se ha conseguido. Otra prueba de ello es que libros o proyectos que recopilan CSC (Conrado y Nunes-Neto, 2018) tienen muchos temas en común con CTS.

Pensamiento crítico

Uno de los retos de la enseñanza obligatoria es conseguir un pensamiento crítico (PC) en la población, para enfrentar los problemas que surgen en las sociedades.

Algunas disciplinas, como la filosofía, a veces, se atribuyen la exclusividad del PC, para justificar su importancia en el currículo. Pueden presentar una extensa nómina de pensadores críticos, como Sócrates y su mayéutica, Descartes y su duda metódica, Hume y su empirismo, Kant y sus críticas de la razón, los valores y la práctica, Nietzsche (que sospecha de la religión, moral y costumbres), Marx (de la economía y la política). Y, más recientemente, Russell y la escuela de Frankfurt (Horkheimer, Adorno, Marcuse, Habermas), etc. Pero también otra en sentido contrario: escolásticos, romanticismo alemán, etc. (Russell, 2010).

Pero no hay que olvidar que en pedagogía crítica tenemos a Freire (1970), Apple (1986), Giroux (2004) y otros, que plantean la educación como un proceso de emancipación individual y colectiva para transformar la sociedad actual. Y en didáctica de las ciencias Yager (1993) relaciona el PC con la capacidad de hacer elecciones racionales y juicios fundamentados como elementos de las decisiones que se emplean para resolver problemas. Halpern (1998) plantea procedimientos como resolución de problemas, argumentación, evitar falacias de interpretación (respecto a la probabilidad o la causalidad/correlación, etc.). Vieira, Tenreiro-Vieira y Martins (2010) mencionan las capacidades de cuestionar la validez de los argumentos, rechazar conclusiones no basadas en razones válidas, detectar tendencias y errores de pensamiento y evaluar la credibilidad de las fuentes de información. Jiménez-Aleixandre (2010) ofrece una definición más completa al afirmar que pensamiento crítico “es la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en ella” (p. 39), y señala que tiene componentes de argumentación, como la búsqueda y uso de pruebas y cuestionar la autoridad, y emancipatorios, como la opinión independiente y el

análisis crítico de discursos legitimadores. Y, ¿qué sucede con la ciencia?

¿Es la ciencia pensamiento crítico?

Si se plantea esta pregunta a estudiantes o profesorado de ciencias suelen considerar crítica a la ciencia porque el método científico implica comprobación o porque se enfrentó, desde la época de Copérnico y Galileo, al pensamiento religioso, aunque conviene recordar que los conflictos entre iglesia y ciencia no son solo religiosos, sino sobre quién tiene la autoridad de afirmar lo que es verdad: la iglesia la justifica en autoridades (doctores de la iglesia, Biblia); en cambio, la ciencia tiene que probarse con observaciones o experimentos.

Es evidente que la crítica siempre implica conflictos con los poderes establecidos. Si se pregunta que mencionen científicos que hayan tenido dichos conflictos por lo general se limitan a Galileo, Darwin... Por eso es mejor ofrecerles un listado de científicos y pedirles que investiguen sus principales contribuciones y en qué conflictos con los poderes y concepciones establecidos se vieron involucrados (Solbes, 2013a). En el listado se puede mencionar a algunos que tuvieron conflictos con la religión, por ejemplo: Hypatia, filósofa y astrónoma, lapidada por el populacho alentado por el patriarca Cirilo de Alejandría (hechos descritos en *Ágora*, película dirigida por Amenábar). Copérnico se libró de persecuciones al publicar *De Revolutionibus* el año de su muerte, pero su libro fue condenado al “Índice de libros prohibidos”. Giordano Bruno fue quemado en la hoguera en 1600. A Galileo en 1610 la Inquisición le prohíbe investigar y enseñar heliocentrismo; cuando publica los *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* en 1632 fue juzgado, amenazado y obligado a abjurar. Darwin no fue perseguido, aunque

su teoría lo fue en países como España (tanto en la Restauración, caso Odón de Buen, como en el franquismo,) y continúa con problemas en EE. UU. (desde el juicio del mono hasta la actualidad, con el diseño inteligente) y prohibida en países islámicos. Por último, las investigaciones en células embrionarias fueron prohibidas en EE. UU. durante la presidencia de G. W. Bush y en España, con Aznar.

Los conflictos políticos son muy corrientes en dictaduras. En la nazi, Albert Einstein, Max Born, Lise Meitner y otros fueron perseguidos por motivos raciales, pero también Schrödinger, por no simpatizar con el régimen, y Heisenberg, por practicar la física teórica. En la soviética se producen persecuciones no solo por disidencia política, también se prohibieron determinadas teorías cuestionadas por el materialismo dialéctico. Estas fueron especialmente graves en genética donde Vavilov (sustituido por Lysenko), Dubinin y otros acaban en campos de concentración. También en física cuántica, pero como esto podía retrasar la investigación en armamento nuclear se limitó a pérdida de cátedras de Landau y Lifschitz. Después, Sajarov fue exiliado a Gorky. El franquismo fue especialmente duro con el profesorado haciendo cierto el "¡Muera la inteligencia!", pronunciada por uno de sus dirigentes: de 60.000 maestros, 15.000 fueron expulsados y 6.000 sancionados; de 1.281 profesores de secundaria, 205 expulsados y 483 sancionados; de 581 catedráticos de universidad, 20 asesinados, 150 expulsados y 195 exiliados, la mayor parte en Latinoamérica (Colombia acogió al químico Antonio García Banús y al geólogo José Royo). La enseñanza de la evolución estuvo prohibida y el divulgador televisivo Félix Rodríguez, fue censurado por ese tema en 1971.

Pero también las democracias han perseguido a los científicos cuando estos abordaban problemas socio-científicos, planteando verdades incómodas que se oponen al discurso del sistema. En EE. UU. el FBI abrió dossiers a Einstein, Urey, Weisskopf y otros por cuestionar la carrera armamentista. A Pauling y Condom les quitó el pasaporte. Shapley, Oppenheimer, David Bohm comparecieron ante el Comité de actividades antiamericanas. A Oppenheimer, director del proyecto Manhattan, lo apartó de sus cargos en la *Atomic Energy Commission*. A Bohm se le expulsa de la universidad y en 1951 se exilia a la USP (Brasil). En Francia, en 1950, el Primer Ministro Bidault destituyó a Frédéric Joliot-Curie como director de la Comisión de Energía Atómica y en 1951, a Irène Joliot-Curie.

Más recientes son los problemas de quienes realizan investigaciones que afectan los intereses de las corporaciones. Rachel Carson por sus investigaciones sobre el DDT (La primavera silenciosa). Clair Patterson, que determinó la edad de la Tierra, por sus investigaciones sobre el Pb en la gasolina. Gilles-Eric Seralini, Cristian Velot y, en particular, Andrés Carrasco por sus investigaciones sobre el glifosato. Robert Watson y James Hansen denuncian el cambio climático antrópico. Watson fue apartado por Bush de la presidencia del IPCC en el 2002 y Hansen ha sido detenido varias veces por su activismo en este tema.

Es decir, estos casos prueban que la ciencia es metodológicamente crítica, pero para que se pueda considerar como PC tiene que salir de las “paredes del laboratorio” e incidir en cuestiones sociales, lo que puede implicar enfrentamientos con el poder dominante en cada época: religioso, político, económico. En otras palabras, el método científico es condición necesaria del PC, pero no suficiente. La enseñanza de los procedimientos no parece suficiente para enseñar PC, porque también importan los contenidos. Hay que tratar CSC, cuestiones científicas implicadas en debates sociales.

Pensamiento crítico y cuestiones socio-científicas

¿Se enseñan las ciencias de forma que contribuyan al desarrollo del PC? Podemos afirmar que no, como prueban investigaciones sobre el profesorado de ciencias que distan 18 años (Solbes y Vilches, 1995 y Solbes y Torres, 2013). Esto es debido a que se enseña de forma explícita una ciencia dogmática, como acumulación de verdades: “se trata de una educación estrecha y rígida, posiblemente más que ninguna otra, exceptuando quizá la teología ortodoxa” (Kuhn, 1971, p. 166), “Al científico se le ha enseñado mal. Se le ha enseñado dentro de un espíritu dogmático (...) Ha aprendido una técnica que puede aplicarse sin preguntar por qué” (Popper, 1985, p. 151). Una ciencia muy formalista: muchas fórmulas y conceptos, y un lenguaje muy técnico, pocas discusiones y trabajo experimental, en consecuencia, una ciencia difícil, ardua y elitista, solo apta para minorías (genios, WASP, hombres) y una visión neutral de la misma. En cambio, oculta los problemas que originaron las investigaciones, el carácter hipotético de la ciencia, fruto del trabajo de muchas personas, de diversos países, que compiten y tienen

controversias, es decir, la historia y la naturaleza de la ciencia (NC), con lo cual favorecen el dogmatismo y dificultan el desarrollo del PC (Solbes y Traver, 1996 y 2003). Y es una ciencia descontextualizada que oculta las relaciones CTS y obstaculiza que el PC, inherente a las ciencias, tenga incidencia en cuestiones sociales (Solbes y Vilches, 1997).

En diversos estudios se ha mostrado que se puede desarrollar el PC de los estudiantes al desplegar las siguientes competencias (Solbes y Torres, 2012; Torres y Solbes, 2016):

1. Comprender la NC como actividad humana controvertida y no dogmática.
2. Estar informado sobre el tema, no limitarse al discurso dominante y conocer posturas alternativas. Cuestionar la validez de los argumentos, rechazando conclusiones no basadas en pruebas, detectar falacias argumentativas, evaluar la credibilidad de las fuentes teniendo en cuenta los intereses subyacentes.
3. Estudiar la CSC en su complejidad, de manera que se involucren dimensiones éticas, culturales, filosóficas, sociales económicas, ambientales, etc.
4. Valorar y realizar juicios éticos en torno a la CSC atendiendo a la contribución de los mismos a la satisfacción de necesidades humanas, a la solución de los problemas del mundo.
5. Llegar a conclusiones que lleven a tomar decisiones fundamentadas y a promover acciones para el mejoramiento de la calidad de vida (declaraciones o solicitudes escritas, participación en proyectos, votaciones, ONG)

¿Qué CSC hay que enseñar? Una propuesta contra las pseudociencias

La actualidad se caracteriza por la globalización, la interdependencia económica creciente del conjunto de los países del mundo —provocada por el aumento del volumen y la variedad de las transacciones transfronterizas de bienes y servicios, así como de los flujos internacionales de capitales—, al mismo tiempo que la difusión acelerada y garantizada de la tecnología. Se trata de una globalización solo económica y esto se traduce en una concentración de riqueza y en un incremento de la desigualdad constantes: según el informe Oxfam (2014), las 85 personas más ricas del mundo tienen la misma riqueza que la mitad más pobre de la población mundial. También se traduce en la destrucción del medio ambiente y el agotamiento de los recursos a nivel global (Solbes, 2002).

Esa globalización crea en los ciudadanos una situación de desigualdad, exclusión, incertidumbre e inseguridad. El individuo se siente frágil y pierde identidad frente a esas grandes fuerzas que lo dominan y se produce un crecimiento de la irracionalidad, con el auge del racismo, de fundamentalismos religiosos, de nacionalismos, de publicidad y propaganda de corporaciones y políticos para manipular la opinión pública, y de pseudociencias. Estas son conocimientos o creencias que no son científicos pero que se presentan como tales, para adquirir una mayor legitimidad. Aunque como señala Shermer (2010) —quien utiliza un cuestionario que permite asignar a cada afirmación entre 0,9, máximo, hasta 0,1, mínimo de validez científica—, los límites entre ciencia normal, pseudociencia y ciencia frontera son difusos. A todas las pseudociencias les asigna 0,1, hay teorías de ciencia normal como la sociobiología/psicología evolutiva con 0,5, la complejidad y caos (0,5), el cociente intelectual (*ci*) y sus pruebas (0,3) o en la ciencia frontera, las supercuerdas (0,7), la cosmología inflacionaria (0,6) o teorías económicas (0,5), por ejemplo, las tesis de la libertad de mercado y su necesaria desregulación, que algunos economistas neoliberales repiten como un mantra, aunque son cuestionadas por muchos economistas.

Una posible clasificación (Solbes, Palomar y Domínguez-Sales, 2018) de las pseudociencias sería: las clásicas, que responden a deseos humanos como conocer el futuro (astrología, horóscopos), tener poderes (telequinesia, telepatía, etc.), ser visitados por extraterrestres (ufología y antiguos astronautas), entre otros. También están las pseudociencias de la salud, terapias y efectos no sostenidos por pruebas científicas, como la homeopatía, la acupuntura, el reiki, algunas dietas, las influencias de la Luna, la curación cuántica, etc. Y las pseudociencias legitimadoras, que utilizan ideas científicas sin demostrar, con el propósito de apoyar diferentes ideologías, como el darwinismo social, algunas ideas de la economía neoliberal, el diseño inteligente, el *ci* y su heredabilidad mayoritaria, el negacionismo del cambio climático antrópico, etc. En conclusión, la publicidad utiliza pseudociencias para aumentar las ventas de artículos de limpieza, cosméticos, alimentos enriquecidos, etc., y preocupa mucho que los futuros profesores de

ciencias incurren en dichas ideas pseudocientíficas (Solbes et al., 2018).

Por ello, proponemos realizar en el aula CSC, como el glifosato, que denuncian el papel de la ciencia en los problemas de nuestro tiempo, ya que sería hacerle un flaco favor al desarrollo del PC ocultarlos. Hay que mostrar la mayor responsabilidad en estos problemas de las empresas y los gobiernos, y también cómo algunos científicos contribuyen a su estudio, a su denuncia ante la sociedad y a proponer soluciones. Pero también hay que hacer CSC para cuestionar las pseudociencias, para “defender la ciencia dentro de la razón” (Haack, 2011), ya que no debemos olvidar que los principales defensores de la empresa científica han sido los movimientos progresistas de la sociedad (la revolución científica, la ilustración, el socialismo, etc.) que no pueden renunciar a ella (Solbes y Traver, 2003).

Las CSC que mostramos a continuación permiten desarrollar el PC y evaluar la NDC (Afonso y Gilbert, 2010):

El poder de la mente. La Parapsicología (telepatía, telequinesia)

Actividad. Realizar una experiencia de telequinesia: Apoyar una barra sobre los dedos índices manteniendo los brazos muy extendidos. Desplazar hacia el centro de la barra solo el dedo de la mano derecha y, entonces, por el poder de la mente, la barra se desplazará sobre el dedo de la izquierda. ¿Se mueve por el poder de la mente del profesor?

Parafraseando a Arthur C. Clarke: Si no se entiende, cualquier fenómeno o tecnología es indistinguible de la magia. No se desplaza por telequinesia, sino por el “poder” de las leyes de la física. En primer lugar, la ley de equilibrio de fuerzas. Al principio, el peso P de la barra es compensado por las fuerzas

normales N sobre los dedos. Cuando se desplaza un dedo, la normal sobre el mismo N_1 aumenta, y disminuye la otra N_2 , por la ley de equilibrio de momentos (ley de la palanca); $r_1 \times N_1 = r_2 \times N_2$ y ambas están en equilibrio con el peso. Pero aquí entra en juego otra ley, la fuerza de rozamiento $Fr = \mu N$. Al ser Fr_1 sobre el dedo que se ha desplazado, mayor que Fr_2 , la barra se desplaza sobre el otro, hasta que las Fr se igualan. El proceso continúa hasta que ambos dedos coinciden en el centro de masas (CM) del cuerpo (véase figura 1). Por supuesto, si la masa en un extremo aumenta, se puede comprobar que todo sucede de forma semejante y que el CM ya no coincide con el centro geométrico de la barra.

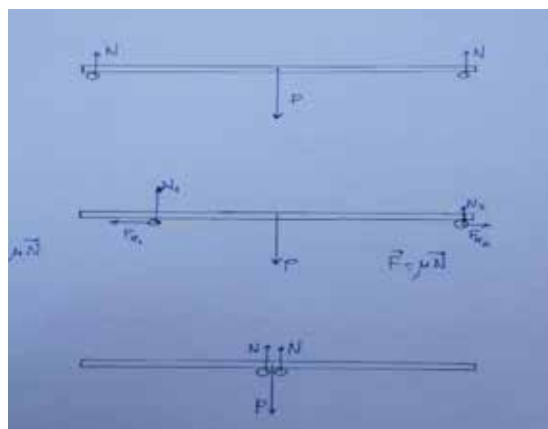


Figura 1. Distintas distribuciones de las fuerzas en equilibrio en la barra.

Fuente: elaboración propia

Es preocupante que la Unesco no haya asignado ningún código para la didáctica de las ciencias y otorgado el código 6110 a la Parapsicología. Y que el gobierno de los EE. UU. financiase investigaciones para usar capacidades paranormales contra el enemigo. Esto ha sido satirizado por el libro y la película *Los hombres que miraban fijamente a las cabras* (2009), dirigida por Grant Heslov y protagonizada por George Clooney.

Astrología: horóscopos y cartas astrales

Actividad. ¿Conoces creencias de influencia de los astros en la vida de las personas? ¿A qué pueden atribuirse y qué valor tienen?

La astrología o la conveniencia de sembrar o cortarse el cabello en función de la fase de la Luna son algunas de las creencias que surgen entre los estudiantes. En la antigüedad se atribuyó a los astros poder sobre los humanos (e incluso se los divinizó), al comprobar cómo la posición del Sol determina las estaciones y las cosechas. De que la Luna controla las mareas, no se puede llegar a que el destino de las personas esté influido por los astros. Pero los medios de comunicación siguen avalando estas creencias publicando horóscopos y realizando programas de astrología, de personas que predicen el futuro, médiums, etc.

Actividad. ¿Qué hechos y razones conoces que pongan de manifiesto el carácter acientífico de la astrología?

Hay muchos hechos y razones que evidencian el carácter acientífico de la astrología. Si se mira el horóscopo del mismo día de dos medios de comunicación diferentes se comprueba que los diferentes horóscopos predicen cosas diferentes o por demás ambiguas para que sirvan en cualquier caso. Otra prueba en contra son los gemelos que a pesar de haber nacido bajo el mismo signo y ascendente (carta astral), tienen vidas diferentes. También algunos estudios estadísticos de correlación entre los datos de nacimiento de muchísimos individuos asociados a determinadas profesiones (deportistas de élite, intelectuales, ingenieros, etc.) no han mostrado ningún patrón razonable y han dejado clara la aleatoriedad entre supuestas cualidades asociadas al signo del horóscopo y las habilidades intelectuales de los individuos.

La base astronómica del horóscopo es el zodiaco, las constelaciones por donde pasa la trayectoria del Sol sobre el esquema de estrellas fijas, llamada eclíptica (Véase figura 2). Utilizamos el zodiaco babilónico de hace miles de años, pero con los cambios de orientación del eje de la Tierra (precesión de los equinoccios) y la mayor exactitud en la medida de las posiciones de las estrellas, las constelaciones por donde pasa la eclíptica no son doce, sino trece y no tienen una correspondencia exacta con los meses.

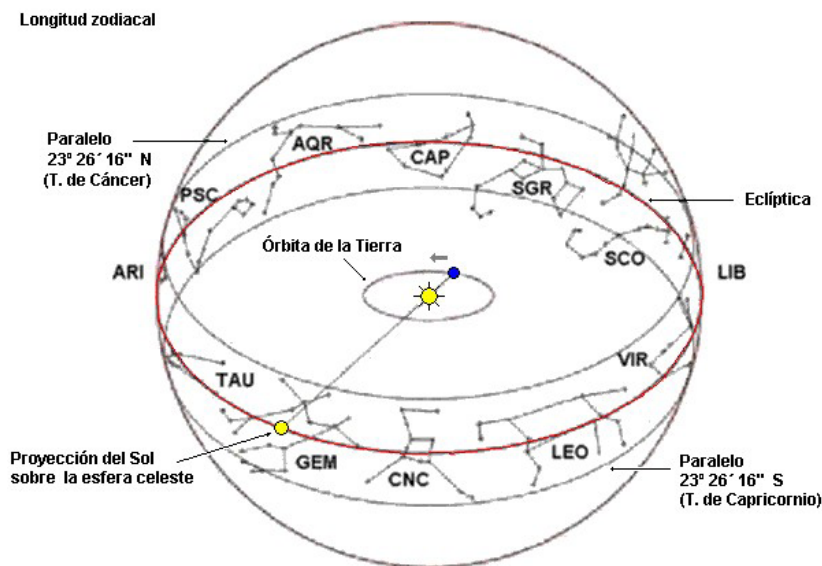


Figura 2. Eclíptica y constelaciones del zodiaco

Fuente: tomado de https://www.astralis.es/cursos/Astro1_astronomia.htm.

Los trece signos son: 21 enero-16 febrero (Capricornio), 17 febrero-12 marzo (Acuario), 13 marzo-18 abril (Piscis), 19 abril-14 mayo (Aries), 15 mayo-21 junio (Tauro), 22 junio-20 julio (Géminis), 21 julio-10 agosto (Cáncer), 11 agosto-16 septiembre (Leo), 17 septiembre-31 octubre (Virgo), 1 noviembre-23 noviembre (Libra), 24 noviembre-29 noviembre (Escorpio), 30 noviembre-18 diciembre (Ofiuco/Serpentario), 19 diciembre-20 enero (Sagitario).

Resulta necesario, pues, clarificar estas cuestiones y que los ciudadanos comprendan que la Astronomía es una ciencia que estudia el universo, mientras que la Astrología es una creencia que pretende, sin pruebas (o, más bien, sin tener en cuenta todas las pruebas en contra) que los planetas influyen en nuestras vidas personales. Y si en tiempos de Ptolomeo (los griegos) la distinción entre ambas no era clara, hoy en día sí lo es.

Son muchos los ciudadanos que se toman en serio la astrología y pagan por mentiras, pero más peligroso resultaba cuando políticos como Hitler o George W. Bush tomaban

decisiones basándose en el horóscopo. Esto es debido a que la astrología ha sido pocas veces criticada en las clases de ciencias, en los medios de comunicación, etc., lo que evidencia un gran déficit de pensamiento crítico de nuestra sociedad.

La homeopatía

Los fundamentos de esta práctica pseudo-médica son unas extrañas creencias que no resisten una mínima prueba rigurosa de carácter científico. Los homeópatas suministran a sus pacientes unas muestras muy diluidas del medicamento que debería curar determinados síntomas o enfermedades.

Actividad. Hahnemann (1755-1843), el padre de la homeopatía, creó la escala centesimal o "escala C", diluyendo una sustancia por un factor de 100 en cada etapa. Para la mayoría de los preparados se utilizan disoluciones de 6C hasta 30C. Calcular la disolución en notación científica y la mayor disolución en la que es probable encontrar al menos un único átomo de Hg si disolvemos 1 ml de este.

Una disolución 2CH es un preparado con una parte de la sustancia original cada 10000 partes de solución (10^{-4}). La disolución de 6CH tiene un factor de 10^{-12} (1 dividido por un billón, y la de 30CH hasta 10^{-60} . Si tenemos en cuenta que la densidad del mercurio es 13,6 g/ml, en 1 ml hay 13,6 g de Hg. Como 1 mol de Hg pesa 200,6 g entonces con ayuda del Número de Avogadro ($6,023 \cdot 10^{23}$) calcularemos que en 1 ml hay $4,083 \cdot 10^{22}$ átomos de Hg. Es decir, con una disolución de 12CH (10^{-24}) improbable encontrar ni un átomo.

También utilizan otras formas propias, no científicas, para dar la concentración, y así confundir al comprador. En resumen, las muestras son tan diluidas que son agua prácticamente pura (a veces con azúcar, el agua azucarada más cara del mundo) y así es imposible que hagan efecto.

Para salir adelante, sus defensores plantearon una hipótesis aún más pseudo-científica: la memoria del agua. Aunque el principio activo ya casi no se encuentra en la disolución, afirman que el agua (el disolvente donde se ha mezclado) conserva la memoria de la estructura química del medicamento original. Esta hipótesis implica que el recuerdo de la forma o del tamaño es lo único importante de una molécula química a la hora de actuar como principio farmacológico y esto no es cierto, porque cada molécula está compuesta de diferentes átomos y, sobre todo, de diferentes enlaces químicos que le dan las propiedades de reactividad adecuadas para interaccionar con las células vivas e influir en el metabolismo, lo que permite un efecto terapéutico real. Pero eso no es posible “sin la molécula real”, la simple “memoria del disolvente” no puede tener ningún efecto real. Y eso, suponiendo que esta memoria de la forma se mantenga en el agua y la hipótesis sea cierta.

Por último, hay que señalar que Edzar Ernst, catedrático de medicina, con más de 20 años estudiando pseudo-medicinas como la homeopatía tuvo que jubilarse con anticipación por sus enfrentamientos con el príncipe Carlos de Inglaterra, gran partidario de ellas.

Curación cuántica, resonancia (bio)magnética cuántica y otras

Actividad. Muchas personas sostienen la idea de que la conciencia puede curar el cuerpo. Una de sus modalidades es la “curación cuántica”, que asegura hacerlo a través de efectos de mecánica cuántica. ¿En qué fenómenos cuánticos se apoyan? ¿Hay algún fundamento? ¿Qué otras pseudociencias pretenden apoyarse en la física cuántica?

Esas pseudociencias intentan apoyarse en el prestigio científico de la física cuántica y, a la vez, en las dificultades de la visión cuántica del comportamiento de la materia, más en concreto, en interpretaciones de las relaciones de indeterminación de Heisenberg y de la dualidad. Esto no es un hecho reciente ya que, tan pronto como apareció, algunos filósofos y físicos (Heisenberg, Compton o Eddington) hicieron uso ideológico de la cuántica y del indeterminismo en defensa de ideas metafísicas (idealismo, libre albedrío).

En el libro *El Tao de la Física* (1975), Fritjof Capra trató de establecer relaciones entre cuántica y budismo, pero sus ideas han sido extrapoladas para dar apoyo científico al “misticismo cuántico” y, después, a la curación cuántica. Esta fue muy difundida por la película de 2004 *¿Y tú qué sabes!?* de la empresa Escuela Ramtha de la Iluminación, dirigida por J. Z. Knight, que afirma comunicarse con Ramtha, un atlante de 35000 años. Pero el misticismo es un tema personal y, en cambio, la supuesta curación es un peligro para la salud pública, porque estas pseudoterapias han hecho que enfermos graves abandonen los tratamientos prescritos por los médicos.

Durante la génesis de los conceptos cuánticos se atribuyó la indeterminación a faltas de precisión de los instrumentos de observación, lo cual es un error. Heisenberg afirmaba, en el experimento conceptual del microscopio de rayos gamma, que para ver un electrón hay que iluminarlo y al hacerlo se le comunica cantidad de movimiento alterando su estado y modificando su posición. Según esto la indeterminación parece unida a la observación de modo indisoluble. Esta proposición muestra cómo la relación de indeterminación ha contribuido a aclarar el hecho de que el proceso de medida es una interacción que modifica lo que se observa, perturbación que también se verifica en física clásica (un termómetro en un sistema pequeño, no mide la temperatura del sistema sino la de equilibrio de ambos), pero introduce el error de unir de manera indivisible la indeterminación a la observación, lo que induce a pensar que cuando no se está observando, desaparecería la indeterminación. Se olvida así que la indeterminación tiene un origen más profundo que hace referencia a la naturaleza cuántica de la materia. En resumen, no es el observador el que provoca la indeterminación sino las interacciones del

sistema con el entorno y una medida es solo una interacción controlada y reproducible.

Por otra parte, el extraño comportamiento de objetos cuánticos como los electrones, los fotones, etc., que a veces se comportan como ondas y a veces como partículas (dualidad), lo aprovechan algunos para decir que todo es energía (ondas) y hacer especulaciones esotéricas de todo tipo, pero de la misma forma se podría decir que todo es materia en movimiento (partículas). Por otra parte, como obtener tal o cual comportamiento depende de los aparatos que usamos para medir permite que otros, como el físico Eugene Wigner, afirmen que las propiedades de los electrones dependen en cierta medida de las decisiones conscientes del observador y que, por tanto, la mente o la conciencia del observador afecta la materia. Pero la física cuántica no tiene que ver con la mente del observador y sí con el hecho de que el objeto cuántico interactúe con un aparato de medida (o con una molécula de aire o un fotón del entorno). Se puede encontrar una explicación más sofisticada, y utilizar superposiciones de estados (gato de Schrödinger) y de coherencia cuántica, en Solbes (2013b).

La resonancia biomagnética cuántica (RBC) es un fraude, que utiliza para legitimarse no solo la cuántica sino también la imagen por resonancia magnética (IRM), técnica no invasiva que utilizan los médicos para obtener información sobre la estructura y composición del cuerpo a analizar, basada en el fenómeno de la resonancia magnética nuclear. En cambio, la RBC es un aparato, como un galvanómetro, que se toma con la mano y mide la resistencia de la piel (o en otras versiones, como un casco de electroencefalografía), pero si la misma persona que tiene el aparato, cambia una sola respuesta a las preguntas, como peso, edad, o género, que se introducen en el ordenador, este da diferentes resultados.

También se ha usado la cuántica para explicar la homeopatía, pero no se conoce ninguna propiedad cuántica que pueda sobrevivir durante meses o años a temperatura ambiente.

En realidad, estas pseudociencias, como otras relacionadas con la salud, se basan en las necesidades de las personas enfermas y utilizan conceptos, e incluso aparatos científicos, para engañarlas y sacar provecho.

El glifosato

El glifosato es la sustancia activa del herbicida más utilizado (en 2014 se aplicaron unos 825 millones de kg en todo el mundo). Fue desarrollado, patentado y comercializado por la multinacional Monsanto. Su marca más famosa es Roundup®, cuyo uso ha aumentado en los últimos años, sobre todo desde que la empresa desarrolló cultivos genéticamente modificados (OGM) resistentes al producto.

Actividad. El Director general de AEPLA (Asociación empresarial de fabricantes de productos fitosanitarios) cuestionaba al científico Kogevinas al afirmar que autoridades científicas competentes han declarado que el glifosato no es cancerígeno, que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) no es una autoridad reguladora, que un estudio realizado entre más de 50.000 trabajadores agrícolas cuyas conclusiones relacionan el glifosato con un tipo de leucemia no es estadísticamente significativo. ¿Puedes cuestionar con pruebas científicas estos argumentos?

La AEPLA utiliza las estrategias de la industria del negacionismo o de la duda, que tan buenos resultados tuvo en minimizar los conocimientos científicos acerca de la conexión entre tabaco y cáncer y que ahora vemos aplicar al cambio climático, al glifosato, etc. En primer lugar, apelar a supuestas autoridades científicas para mostrar que no hay un consenso científico, lo cual genera dudas y produce ignorancia. Por eso ahora muchas revistas piden que se expliciten los conflictos de interés, es decir, el financiador, ya que puede haberse producido una captura del investigador, mediante mecanismos legales (empleos, premios, ayudas) o ilegales (tráfico de influencias, compartición de secretos, puertas giratorias), programas de becas o subvenciones para promover estudios favorables a las corporaciones (o minimizar aquellos desfavorables).

En segundo lugar, negar la autoridad de los científicos desfavorables, en este caso la IARC, una agencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que clasifica los productos en varios grupos entre los que destacan: grupo 1, carcinógeno para el ser humano (p. ej., amianto, benceno, radiación ionizante); 2A, probablemente carcinógeno (formaldehído, PCB, glifosato); 2B, posiblemente carcinógeno. En tercer lugar, aprovechar las dificultades para probar la relación entre enfermedades (profesionales o no) y productos tóxicos para crear dudas, y desacreditar una investigación hecha con 50000 personas. Señala Kogevinas (2018):

La clasificación se basó en las pruebas disponibles sobre su efecto en humanos y animales. Estas apuntaban a un aumento del riesgo de linfomas no hodgkinianos en los trabajadores agrícolas, lo que se confirmaba en animales y en estudios experimentales (...). La evaluación de la IARC del 2015 desató una controversia sin precedentes en la industria y algunos organismos reguladores. Se argumentó que las pruebas sobre la carcinogenicidad del glifosato no eran lo bastante sólidas, como sí lo eran las relativas al tabaquismo o las dioxinas. Monsanto inició un ataque contra la IARC y varios científicos independientes que participaron en la evaluación, lo que ha dado lugar a pleitos en los que también han intervenido Gobiernos y organismos reguladores de varios países. (p. 46)

Por otra parte, tenemos verdades jurídicas sobre este tema, en las que también se necesitan pruebas ante un tribunal o jurado, que dictamina en base a las mismas. En el 2001, en el Barrio Ituzaingó de la ciudad de Córdoba (Argentina), un grupo de madres se movilizan al identificar un llamativo número de casos de cáncer y problemas fetales. En el 2008, se denunció ante el fiscal de Instrucción Penal, que una avioneta estaba aplicando venenos en campos colindantes que llegaban al Barrio. Andrés Carrasco, investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y presidente del mismo en el periodo 2000-2001, lo visibilizó en el 2009 al publicar en el diario "Página 12" una investigación realizada en su laboratorio sobre los daños que causa el glifosato. El propio ministro de Ciencia y Tecnología cuestionó la investigación y Carrasco, Subsecretario de Innovación Científica, debió renunciar a su cargo. En el 2010 se le prohibió dar una charla en la Feria del Libro. Sufrió amenazas anónimas, del sector agrario exportador y del gobierno,

falleció en el 2014 de un infarto. La postura oficial es que los daños sobre la salud y el ambiente que se pueden estar produciendo se deben a un uso inadecuado de los productos, a la falta de control (Blois, 2018). En el 2012, la Cámara I del Crimen de Córdoba falló que fumigar por vía aérea con agrotóxicos es delito, y condenó al productor y al aerofumigador a una pena de tres años. En el 2017, la Corte Suprema de la Nación ratificó la condena. Por otra parte, en el 2018 el Tribunal Superior de San Francisco consideró al glifosato causante del cáncer terminal del jardinero Johnson y condenó a Monsanto a una indemnización de 289 millones de dólares.

Otras CSC

En Solbes (2013b) podemos encontrar otras CSC sobre las implicaciones sociales de la teoría de la evolución (el creacionismo, el determinismo social), cuestionar con pruebas científicas los argumentos de los defensores de las centrales nucleares o la heredabilidad, en su mayoría genética, del coeficiente intelectual (CI).

En Solbes et al. (2010), encontramos otras muchas sobre: el carácter presuntamente occidental de la Astronomía, los problemas con los que tuvo que enfrentarse Galileo, la supuesta "conquista" del espacio y las dificultades de viajes espaciales tripulados, la chatarra espacial, el problema del origen de la Tierra y de la vida, la Ufología, la agresividad humana, la ingeniería genética y sus consecuencias, la huella genética y la justicia, la polémica de los OGM, la clonación y las células madre, la industria farmacéutica, las patentes y los genéricos, las enfermedades del mundo opulento, los principales problemas del mundo, el agotamiento de recursos (agua, petróleo, alimentos, etc.), problemas ambientales (contaminación de aire y agua, desertificación, residuos, cambio

climático), el consumo de papel, materiales con problemas (coltán, aluminio, titanio), los CFC y la capa de ozono, el DDT y Rachel Carson, la contaminación de la microelectrónica, Internet y sus implicaciones sociales.

Conclusiones y perspectivas

En primer lugar, hemos mostrado que el núcleo del programa de investigación CTS y CSC es prácticamente el mismo y plantear divisiones olvida que lo importante es generalizar el uso crítico de ambas en las aulas de ciencias, lo cual no se ha conseguido aún. En segundo lugar, hemos comprobado que la ciencia es metodológicamente crítica, pero para que se pueda considerar como PC tiene que abordar CSC. En estos momentos en que el sueño de la razón engendra monstruos, proponemos realizar CSC habituales y CSC para cuestionar las pseudociencias. En el marco de nuestro proyecto de formación del profesorado de ciencias basada en la indagación en contexto, estamos realizando dichas CSC para cambiar las ideas pseudocientíficas de los futuros profesores.

Este trabajo forma parte del proyecto EDU2015-69701-P, financiado por Mineco y Feder.

Referencias

- Afonso, A. S. y Gilbert, J. K. (2010). Pseudo-science: A meaningful context for assessing nature of science. *International Journal of Science Education*, 32 (3), 329-348. <https://doi.org/10.1080/09500690903055758>
- Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69 (4), 453-475. <https://doi.org/10.1002/sce.3730690403>
- Aikenhead, G. S. (1994). What is STS science teaching? En J. Solomon y G. Aikenhead (Eds.), *STS education: International perspectives on reform* (pp. 47-59). New York: Teachers College Press.
- Apple, M. W. (1986). *Ideología y currículo*. Madrid: Akal.
- Barnes, B. (1987). *Sobre Ciencia*. Barcelona: Labor.
- Bernal, J. D. (1976). *Historia social de la ciencia*. Barcelona: Península.
- Blois, M. P. (2018). Ciencia y glifosato: interpelando órdenes. *Cuadernos de Antropología Social*, 43, 73-93.
- Conrado, D. M. y Nunes-Neto, N. (Ed.). (2018). *Questões sociocientíficas*. Salvador: EDUFBA.
- Contreras, J. (2011). *La autonomía del profesorado*. Madrid: Morata.
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Buenos Aires: Siglo XXI.

- Giroux, H. A. (2004). *Teoría y Resistencia en Educación*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Haack, S. (2011). *Defensar la ciència dintre de la raó. Entre cientisme i cinisme*. Valencia: PUV.
- Habermas, J. (1992). *Ciencia y técnica como "ideología"*. Madrid: Tecnos.
- Halpern, D. (1998). Teaching critical thinking for transfer across domains. *American Psychologist*, 53 (4), 449-455.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Kogevinas, M. (2018). ¿Es cancerígeno el glifosato? *Investigación y Ciencia*, marzo, 46.
- Kolstø, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85 (3), 291-310. <https://doi.org/10.1002/sce.1011>
- Kuhn, T. S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.
- Latour, B. (1992). *Ciencia en Acción*. Barcelona: Labor.
- Marcuse, H. (1972). *El hombre unidimensional*. Barcelona: Seix Barral.
- Martínez, L. (2013). La emergencia de las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSa. *Góndola*, 8 (1), 23-35.
- Oxfam (2014). *Gobernar para las élites. Secuestro democrático y desigualdad económica*. Recuperado de <https://www.oxfamintermon.org/es/documentos/17/01/14/gobernar-para-elites-secuestro-democratico-desigualdad-economica>
- Pope, M. y Gilbert, J. (1983). Personal Experience and the construction knowledge in science. *Science Education*, 67, 193-203. <https://doi.org/10.1002/sce.3730670208>
- Popper, K. R. (1985). *Búsqueda sin término*. Madrid: Tecnos.
- Ratcliffe, M. (1997). Pupil decision making about socioscientific issues within the science curriculum. *International Journal of Science Education*, 19 (2), 167-182. <https://doi.org/10.1080/0950069970190203>
- Ruiz, J. J., Solbes, J., y Furió, C. (2013). Debates sobre cuestiones sociocientíficas: Una herramienta para aprender Física y Química. *Textos*, 64, 32-39.
- Russell, B. (2010). *Una historia de la filosofía occidental*. Barcelona: Edicions 62.
- Salam, A. (1986). Defensa nuclear, desarme y desarrollo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (1), 25-35.
- Shermer, M. (2010). *Las fronteras de la ciencia. Entre la ortodoxia y la herejía*. Barcelona: Alba.
- Solbes, J. (2002). *Les empremtes de la ciència. CTS: Unes relacions controvertides*. Germania: Alzira. Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/60727>

- Solbes, J. (2013a). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/320570722>
- Solbes, J. (2013b). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 171-181. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/320526587>
- Solbes, J., Marco, D., Tarín, F. y Traver, M. (2010). *Ciencias para el mundo contemporáneo. Libro alumnado*. Madrid: Ministerio de Educación. Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/46445>
- Solbes, J., Marco, D., Tarín, F. y Traver, M. (2010). *Ciencias para el mundo contemporáneo. Libro profesorado*. Madrid: Ministerio de Educación. Recuperado de <http://roderic.uv.es/handle/10550/46446>
- Solbes, J., Palomar, R. y Dominguez-Sales, M. C. (2018). To what extent do pseudosciences affect teachers? A look at the mindset of science teachers in training. *Mètode Science Studies Journal*, 8, 188-195. <https://doi.org/10.7203/metode.8.9943>. En español: <https://metode.es/revistas-metode/document-revistas/que-grado-afectan-las-pseudociencias-profesorado.html>
- Solbes, J. y Torres, N. Y. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 247-269. <https://doi.org/10.7203/dces.26.1928>
- Solbes, J. y Torres, N. Y. (2013). ¿Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico? *Tecné, Episteme y Didaxis*, 33, 61-85. <https://doi.org/10.17227/01213814.33ted61.85>
- Solbes, J. y Traver, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 103-112. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/39077168>
- Solbes, J. y Traver, M. (2003). Against negative image of science: history of science in the physics & chemistry Education. *Science & Education*, 12, 703-717. <https://doi.org/10.1023/A:1025660420721>
- Solbes, J. y Vilches, A. (1989). Interacciones ciencia -técnica -sociedad: un instrumento de cambio actitudinal. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/39101243>
- Solbes, J. y Vilches, A. (1995). El profesorado y las actividades CTS, *Alambique*, 3, 30-38.
- Solbes, J. y Vilches, A. (1997). STS interactions and the teaching of physics and chemistry. *Science Education*, 81 (4), 377-386. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199707\)81:4<377::AID-SCE1>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<377::AID-SCE1>3.0.CO;2-9)

- Torres, N. Y. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias*, 34 (2), 43-65. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>
- Vieira, M. R., Tenreiro-Vieira, C. y Martins, E. (2010). Pensamiento crítico y literacia científica. *Alambique*, 65, 96-104.
- Winner, L. (1987). *La ballena y el reactor*. Barcelona: Gedisa.
- Yager, R. E. (1993). Science and critical thinking. En J. H. Clarke y A. W. Biddle (Eds.), *Teaching critical thinking: Reports from across the curriculum* (pp. 264-308). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Zeidler, D. L., Osborne, J., Erduran, S., Simon, S. y Monk, M. (2003). The role of argument during discourse about socioscientific issues. En D. L. Zeidler (Ed.), *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (pp. 97-116.). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Para citar este artículo

- Solbes, J. (2019). Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta para cuestionar las pseudociencias. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 46, 81-99.